

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE
UNA ANTENA MICROSTRIP PARA LAS BANDAS DE 57-64, 64-71 Y 71-
76 GHz**

**AUTORA:
EVELYN JAZMÍN CHALAPUD PATIÑO**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, mayo del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Evelyn Jazmín Chalapud Patiño con documento de identificación N°1718489469, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy la autora del Artículo Académico, ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA DE MICROSTRIP PARA LAS BANDAS DE 57-64, 64-71 Y 71-76 GHz, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Evelyn Jazmín Chalapud Patiño

C.I: 1718489469

Quito, mayo del 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA DE MICROSTRIP PARA LAS BANDAS DE 57-64, 64-71 Y 71-76 GHz realizado por Evelyn Jazmín Chalapud Patiño, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, mayo del 2021



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
Cédula de identidad: 171798583-0

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación a Dios, quien ha sido el promotor de este nuevo logro que a pesar del camino difícil que fue llegar hasta aquí, me ha dado la fuerza para seguir adelante a pesar de las circunstancias. A mi madre María Patiño que es mi motor de vida quien, con su amor incondicional, su carácter, constancia, respeto, sencillez, y su fuerza para no rendirse me ha enseñado a ser una mejor persona cada día, gracias a ella estoy culminando esta meta. Finalmente, dedico este trabajo de titulación a una persona muy importante para mí quien con su amor, apoyo y comprensión ha sabido ser mi fuerza en todo momento y a la vez mi compañero de vida de quien he aprendido tantas cosas buenas y no ha dejado de alentarme en cada nueva fase en mi vida.

Evelyn Jazmín Chalapud Patiño

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios, que sin él nada de esto hubiera sido posible, sé que en cada momento difícil que se presentó estuvo ahí para ser mi fuerza y encontrar el motivo para seguir adelante.

A mi madre María Patiño, quien es mi motor de vida, mi impulso a seguir adelante, por quién daría mi vida, estoy agradecida por su amor incondicional por siempre estar conmigo en los momentos cuando caía porque las cosas no salían como las esperaba, por hacerme entender que siempre en la vida llegan las cosas cuando uno menos lo espera y más de lo que se ha esperado, porque sin ella no hubiera culminado mis estudios y no estuviera cumpliendo este gran sueño que de a poco se ha hecho realidad.

A mi mejor amiga Evelyn Jumbo, quien estuvo a mi lado celebrando mis éxitos y a la vez escuchándome y estando conmigo en los momentos más duros en los que la necesitaba, que, aunque no sea mi hermana de sangre la considero como tal, ella es mi hermana del alma.

A mi compañero de vida Henry Suquillo, a quien agradezco por ser un gran ser humano, por enseñarme a ser una mujer fuerte, confiar en mí misma y ser una mejor persona; gracias por siempre ser el primero en celebrar cada logro por el más mínimo que sea, por ser incondicional en todo momento, así como los buenos aún más en las situaciones difíciles.

A mi tutor, ingeniero Lenin Aucatoma a quien agradezco la oportunidad dada en el desarrollo del tema y gracias a su conocimiento compartido, con profesionalismo supo dirigirme en el desarrollo del presente artículo, y a quien considero un gran profesional, excelente maestro y un gran amigo.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por abrirme sus puertas, en donde conocí grandes seres humanos a los cuales los considero mis amigos, así como profesores a quienes admiro y siento un gran aprecio. Y por su noble corazón al ayudarme a mí y mi familia, en una situación muy difícil por la que estábamos pasando, Muchas Gracias.

Análisis comparativo de los parámetros de dispersión de una antena microstrip para las bandas de 57-64, 64-71 y 71-76 GHz

Evelyn Jazmín Chalapud Patiño
Departamento de Ingeniería en Electrónica y
Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
echalapud@est.ups.edu.ec

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
Departamento de Ingeniería en Electrónica y
Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Resumen— Este artículo detalla el diseño y simulación de tres antenas microstrip con parche rectangular en la banda de onda milimétrica (mmW) en las frecuencias de resonancia: 60, 67 y 74 GHz mediante el software Ansys HFSS, logrando resultados adecuados del coeficiente de reflexión (S_{11}), relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) y patrón de radiación. Se diseñaron las tres antenas con las dimensiones obtenidas del cálculo matemático donde los resultados conseguidos están fuera de los valores objetivo, por lo que se ajustó los parámetros diseño logrando un coeficiente de reflexión en valores entre -20 a -30 dB, VSWR de 1,0472 dB para 60 GHz, 1,0999 dB para 67,0125 GHz y 1,0370 dB para 74 GHz. Los resultados indican que existe una correlación proporcional y no proporcional entre la frecuencia y los desfases, lo que denota una diferencia real en el comportamiento de cada parámetro en los diseños matemáticos frente a los diseños ajustados en un 0.7%, excepto por los valores del ancho del parche que tiene un factor cercano del 15% de aumento, y los valores del ancho del sustrato y tierra con un factor de aproximadamente del 7% de aumento.

Palabras clave—frecuencia de resonancia, microstrip de antena, onda milimétrica.

Abstract— This article details the design and simulation of three microstrip antennas with a rectangular patch in the millimeter wave band (mmW) at the resonance frequencies: 60, 67 and 74 GHz using the Ansys HFSS software, achieving adequate results of the reflection coefficient (S_{11}), voltage standing wave ratio (VSWR) and radiation pattern. The three antennas were designed with the dimensions obtained from the mathematical calculation where the results obtained are outside the target values, so the design parameters were adjusted, achieving a reflection coefficient in values between -20 to -30 dB, VSWR of 1, 0472 dB for 60 GHz, 1.0999 dB for 67.0125 GHz and 1.0370 dB for 74 GHz. The results indicate that there is a proportional and non-proportional correlation between the frequency and the offsets, which denotes a real difference in the behavior of each parameter in the mathematical designs compared to the designs adjusted by 0.7%, except for the values of the width of the patch that has a factor close to 15% of increase, and the values of the width of the substrate and ground with a factor of approximately 7% increase.

Keywords—resonance frequency, antenna microstrip, millimeter wave.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran demanda de productos tecnológicos de alta calidad y más eficaces. La tecnología de despliegue para la quinta generación de comunicaciones inalámbricas (5G) ha marcado la ruta para lograr un mundo completamente inalámbrico. Para mejorar los servicios de banda ancha, se utilizan ondas milimétricas, con el fin de aumentar la capacidad de los canales inalámbricos ya que este tipo de ondas admiten velocidades de datos de 10 Gb/s y superiores [1].

En el diseño de antenas, una característica importante son los parámetros de dispersión que describen el comportamiento eléctrico lineal de los sistemas, que varían con la frecuencia utilizada [2]. En este contexto, se requieren nuevos tipos de antenas para que coincidan con las características de la banda de ondas milimétricas y las necesidades de los nuevos usuarios. En [3] se realizó un análisis comparativo de antenas de parche, con tecnología de microstrip en la banda X a una frecuencia de 10,5 GHz. En [4] se llevó a cabo una caracterización de ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en 5G a una frecuencia de 2,45 GHz. Todos los estudios se centran en una frecuencia, en este artículo las antenas están diseñadas en las bandas de 57-64, 64-71 y 71-76 GHz. Como conjetura se tiene que a mayor frecuencia se obtiene una disminución proporcional del tamaño de la antena y de los parámetros de dispersión. Con este propósito se compara los modelos de cada antena microstrip diseñados matemáticamente con el ajuste de diseño establecer los parámetros de dispersión aceptados.

Este documento se organiza de la siguiente manera: La sección II describe los métodos empleados para diseñar las antenas, la sección III presenta los principales resultados obtenidos a través de esta investigación y un análisis exhaustivo de los mismos. Por último, la sección IV presenta los resultados más relevantes del trabajo concluyendo el documento.

II. MÉTODOS Y DISEÑOS DE LAS ANTENAS

La antena rectangular microstrip tipo parche fue diseñada a tres frecuencias de resonancia: 60, 67 y 74 GHz. Estos diseños fueron simulados en el software Ansys HFSS obteniendo el comportamiento de la antena en cada frecuencia. Para determinar los datos de los parámetros de dispersión mediante

un análisis comparativo entre el diseño matemático (teórico) y el diseño de ajuste. Con estos resultados se buscó detectar desfases mínimos y máximos mientras se varía la frecuencia de resonancia. En cada simulación se debe obtener un valor de -20 dB o menos para el coeficiente de reflexión (S_{11}), además de un valor entre 1 y 1.5 para el VSWR, y un patrón de radiación sin un número significativo de nulos.

A. Diseño de antena microstrip tipo parche rectangular

En la Figura 1 se muestra el modelo analizado, que consta de los siguientes elementos: Un parche (tipo de parche rectangular), una línea de transmisión, un sustrato dieléctrico y un plano de tierra. Para el parche y la línea de transmisión, al diseñar para la frecuencia de 60 GHz, se empleó el hierro, para la frecuencia de 67 GHz el material es aluminio y para 74 GHz el material es grafito. La tierra y el sustrato de las tres antenas fueron compuestos por cobre y FR4-epoxy, respectivamente. Estos materiales fueron elegidos después de todos los ajustes realizados para cada frecuencia con el objetivo de llegar a los valores de los parámetros de dispersión planteados dentro de la investigación.

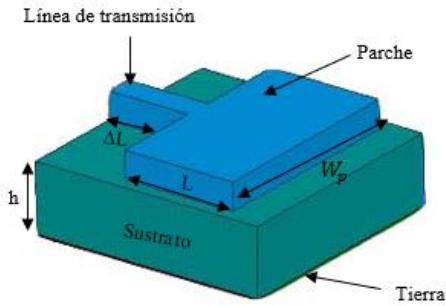


Figura 1. Estructura de la antena microstrip tipo parche rectangular.

La Tabla 1 enumera los parámetros geométricos para cada diseño de antena en tres frecuencias centrales. Las dimensiones presentadas corresponden a valores ajustados realizados en las dimensiones matemáticas de cada antena en cada frecuencia. Estos modelos obtuvieron los mejores resultados para los parámetros S_{11} y VSWR. Las dimensiones de los modelos ajustados tienen un desfase creciente con relación a las dimensiones obtenidas con las fórmulas matemáticas.

Tabla 1. Mediciones de los parámetros de la antena con una frecuencia de funcionamiento de 60, 67 y 74 GHz obtenidas por ajuste.

Parámetro		60 GHz	67 GHz	74 GHz
		[mm]		
Línea Tx	ΔL	0.62	0.61	0.61
	W_p	1.52	1.62	1.72
Parche	L	0.84	0.74	0.64
	W_g	1.72	1.82	1.92
	L_g	1.72	1.82	1.92
	x	1.72	1.82	1.92
Tierra	y	1.72	1.82	1.92
	z	0.011	0.021	0.022
	h	0.5	0.32	0.33
Sustrato	x	1.72	1.82	1.92
	y	1.72	1.82	1.92

Para el modelado matemático se utilizaron las fórmulas descritas en [5] para el ancho del parche (W_p), espesor del sustrato (h), constante dieléctrica efectiva (ϵ_{eff}), longitud efectiva (L_e), extensión de longitud (ΔL), longitud del parche (L), largo del sustrato y tierra (L_g) y ancho del sustrato y tierra (W_g).

B. Coeficiente de reflexión (S_{11}), relación de onda estacionaria (VSWR) y patrón de radiación para los modelos de ajuste

El parámetro de dispersión S_{11} representa cuánta potencia se refleja desde la antena buscando que la energía reflejada sea mínima. En cada modelo ajustado, se obtuvo valores con pérdidas de retorno por debajo de los -20 dB que corresponde a una relación de potencia reflejada y potencia transmitida ($\frac{P_R}{P_T}$), equivalente a $\frac{1}{100}$, es decir, lo que se pierde con lo que se transmite por la antena; el cual se considera como un valor aceptable para el funcionamiento de la antena. En la Figura 2 se visualiza la comparación de los resultados del coeficiente de reflexión vs las frecuencias de resonancia de 60, 67 y 74 GHz, donde se observa que se encuentran por debajo del valor objetivo de -20dB.

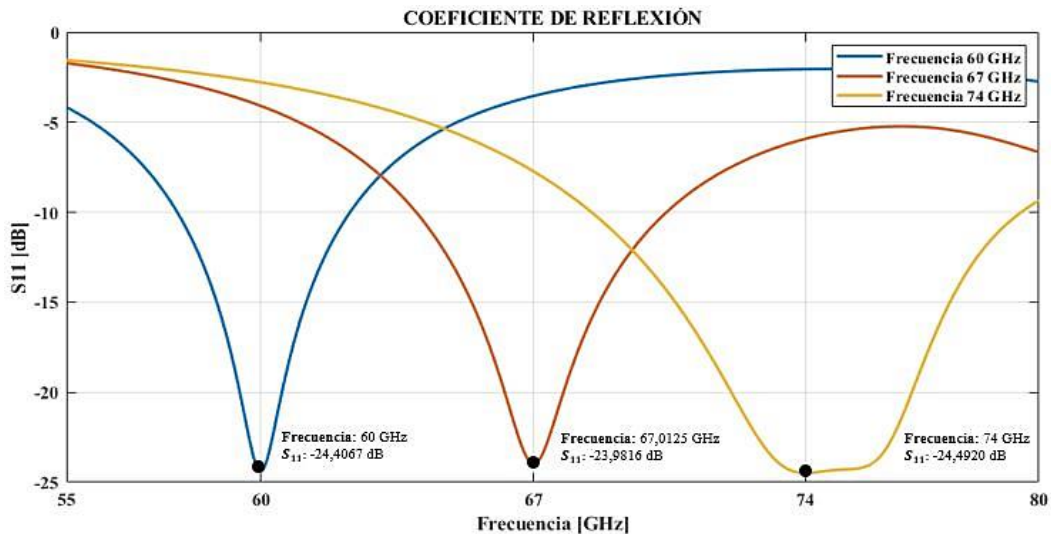


Figura 2. Comparación entre resultados de coeficiente de reflexión (S_{11}) vs frecuencias de resonancia de 60, 67 y 74 GHz.

El parámetro de relación de onda estacionaria (VSWR) se encarga de acoples de impedancia, es decir, lo que entrega el transmisor trata de acoplar perfectamente a la impedancia con la que se encuentra trabajando la antena siendo de 50 Ω . Para VSWR se obtuvo valores de 1 a 1.5. En la Figura 4 se observa la comparación de los resultados del parámetro VSWR vs las frecuencias de resonancia de 60, 67 y 74 GHz.

La Figura 3 muestra el patrón de radiación 2D en el plano H para los diseños con ajuste operando en las frecuencias de resonancia de 60, 67 y 74 GHz con un corte en el ángulo $\Phi=90^\circ$. Este gráfico permite identificar lóbulos principales, posteriores, laterales y nulos respectivamente. Se observa que en el patrón de radiación aumenta los lóbulos posteriores mientras aumenta la frecuencia de resonancia.

La Tabla 2 detalla el valor de S_{11} y VSWR obtenidos con la simulación. Se observa un desfase en la frecuencia de 67 GHz, este valor se obtiene con un desfase de 0.0125 GHz porque es lo más cerca que se llegó a la frecuencia central, al ajustar las dimensiones y materiales de la antena.

Tabla 2. Resultados obtenidos de S_{11} y VSWR para el diseño ajustado de antenas que funcionan a frecuencias de 60, 67 y 74 GHz.

Frecuencia [GHz]	S_{11} [dB]	VSWR
60	-24,4067	1,0472
67,0125	-23,9816	1,0999
74	-24,4920	1,0370

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En esta sección se analiza el impacto de la frecuencia de resonancia en cada parámetro del diseño de la antena, comparando entre los modelos de antena obtenidos utilizando las fórmulas especificadas en [5] frente al ajuste correspondiente en cada modelo. Estos ajustes consistieron en la variación de dimensiones de la antena si aumenta o disminuye de estos valores y comparar con los resultados de la fórmula. Con la finalidad de observar la influencia sobre los parámetros de rendimiento de la antena propuesta. En la Figura

5 se visualiza la relación que existe entre cada elemento que conforma la antena microstrip visualizando los desfases que existen entre los resultados matemáticos y los resultados obtenidos mediante ajustes realizados en el software Ansys HFSS.

A. Impacto de la frecuencia de resonancia (f_0) en el ancho del parche (W_p)

La Tabla 3 presenta los resultados de ambos valores, teóricos y ajustes del ancho del parche (W_p). Para cálculos teóricos, W_p disminuye mientras que la frecuencia de resonancia (f_0) aumenta, y en el ajuste, W_p aumenta mientras que el f_0 aumenta. En este parámetro se visualiza los primeros aumentos importantes de desfase mientras aumenta la frecuencia. El cálculo matemático se realizó con la ecuación (1).

$$W_p = \frac{c}{2f_0(\frac{\epsilon_r+1}{2})} \quad (1)$$

En donde, ϵ_r es la constante dieléctrica relativa del sustrato y c es la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/s).

Tabla 3. Resultados de los valores obtenidos para el parámetro W_p para tres frecuencias centrales.

Frecuencia	Ancho del parche (W_p) [mm]		Desfase [%] M vs A
	Matemático (M)	Ajuste (A)	
60 GHz	1.5215	1.52	0.1
67 GHz	1.3625	1.62	15.90
74 GHz	1.234	1.72	28.26

B. Impacto del espesor del sustrato (h) en VSWR y S_{11}

La Tabla 4 muestra los valores de $h = a$, $h < a$, $h \ll a$ y $h > a$, donde “a” corresponde al valor de la altura máxima del espesor del sustrato obtenido mediante la ecuación (2).

Para su cálculo utilizando $h = a$, $h < a$ y $h > a$, se tomaron dos valores constantes: ancho de tierra con un valor de 0.01 mm y W_p con un valor de 0.023 mm.

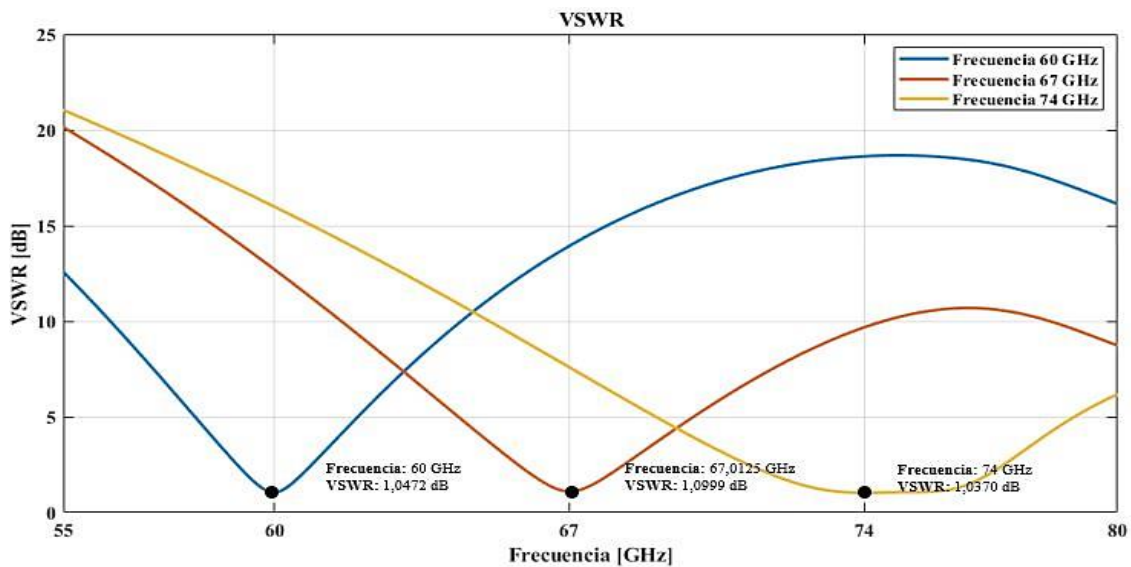


Figura 4. Comparación entre resultados de la relación de onda estacionaria vs frecuencia en las frecuencias de operación de 60, 67 y 74 GHz.

Tabla 4. Resultados para h obtenidos por fórmulas matemáticas (teórica).

Frecuencia	Valores de h	S_{11} [dB]	VSWR [dB]
60 GHz	$h = a$	0.1138	-1,4504
	$h < a$	0.1128	-5,5899
	$h \ll a$	0.001	-1,2859
	$h > a$	0.5	-25,1842
67 GHz	$h = a$	0.1019	-5,5488
	$h < a$	0.1009	-5,6602
	$h \ll a$	0.001	-1,5037
	$h > a$	0.32	-29,6794
74 GHz	$h = a$	0.0231	-10,6881
	$h < a$	0.0221	-11,3319
	$h \ll a$	0.001	-1,6246
	$h > a$	0.33	-34,1434

Para $h \ll a$, el valor del ancho de tierra es de 0.01 mm, el ancho del sustrato es de 0.001 mm y W_p es de 0.0002 mm. Se tomaron como referencia valores muy pequeños para validar la relación del espesor del sustrato. Con la variación de h para $h = a$, y $h < a$, se observa que mientras la frecuencia aumenta, el espesor del sustrato disminuye obteniendo una relación proporcional inversa. Con la variación de h para $h > a$, entre las frecuencias de 60 y 67 GHz se observa que mientras la frecuencia aumenta, el espesor de sustrato disminuye obteniendo una relación inversamente proporcional. De otra manera en el rango de frecuencias de 67 y 74 GHz mientras se aumenta la frecuencia, también aumenta el espesor del sustrato, obteniendo una relación directamente proporcional. Cuando $h = a$, $h < a$, $h \ll a$ y $h > a$, el pico de las curvas S_{11} y VSWR tiene un espacio con el valor esperado de la frecuencia. Según los datos obtenidos mediante la relación del espesor del sustrato, se toma como referencia los valores de $h > a$, al realizar los ajustes en el software se verifica que al modificar los diferentes parámetros de la antena junto a estos valores obtenidos de h se logra obtener los valores de S_{11} y VSWR como objetivo de la investigación.

$$h \leq \frac{0.3\lambda}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

C. Impacto del espesor del sustrato (h) y el ancho del parche (W_p) en la constante dieléctrica efectiva (ϵ_{eff})

La Tabla 5 presenta el resultado de la constante dieléctrica efectiva (ϵ_{eff}). Para el cálculo de este parámetro se necesitó ajustar el valor de h en 0.5 mm para 60 GHz, 0.32 mm para 67 GHz y 0.33 mm para 74 GHz. En este punto fue fundamental realizar el primer ajuste para obtener los resultados. Los valores teóricos se obtuvieron utilizando la ecuación (3)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10h}{W_p} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

Tabla 5. Valores teóricos vs valores de ajuste de ϵ_{eff}

Frecuencia	Constante dieléctrica efectiva (ϵ_{eff}) [mm]		Desfase [%]
	Matemático (M)	Ajuste (A)	M vs A
60 GHz	3.52113	3.5208	0.01
67 GHz	3.6290	3.6856	1.54
74 GHz	3.5869	3.6951	2.93

Con el ajuste aplicado se observó una relación creciente en la constante dieléctrica efectiva, en relación con cada frecuencia, y un desfase creciente entre los valores matemáticos y de ajuste, mientras que la frecuencia de resonancia está creciendo.

D. Impacto de la frecuencia de resonancia (f_0) en la longitud efectiva (L_e)

En la Tabla 6 se determina los valores para la longitud efectiva (L_e) con valores matemáticos y valores obtenidos por ajuste.

Tabla 6. Longitud efectiva (L_e) con valores matemáticos y valores obtenidos por ajuste

Frecuencia	Longitud efectiva (L_e) [mm]		Desfase [%]
	Matemática (M)	Ajuste (A)	M vs A
60 GHz	1.3323	1.3324	0.01
67 GHz	1.1752	1.1662	0.77
74 GHz	1.0703	1.0545	1.48

Mientras f_0 aumenta, L_e disminuye. En este parámetro existe una relación proporcional entre los valores obtenidos con fórmulas matemáticas y los resultados obtenidos luego de realizar el ajuste a las dimensiones de la antena. Para el cálculo de valores matemáticos se utilizó (4).

$$L_e = \frac{c}{2 * f_0 (\sqrt{\epsilon_{eff}})} \quad (4)$$

E. Impacto del espesor del sustrato (h) y la constante dieléctrica efectiva (ϵ_{eff}) en la extensión de longitud (ΔL)

La Tabla 7 presenta los resultados matemáticos de ΔL vs los valores obtenidos por ajuste. Los valores teóricos se obtuvieron con (5).

$$\Delta L = 2 \frac{h}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5)$$

Dónde ϵ_{eff} es la constante dieléctrica efectiva y h es el espesor del sustrato.

Tabla 7. Extensión de longitud (ΔL), valores matemáticos vs valores de ajuste.

Frecuencia	Extensión de longitud (ΔL) [mm]		Desfase [%]
	Matemática (M)	Ajuste (A)	M vs A
60 GHz	0.53292	0.53294	0.0004
67 GHz	0.3359	0.3334	0.74
74 GHz	0.3485	0.3433	1.49

F. Impacto de la extensión de longitud (ΔL) y la longitud efectiva (L_e) en la longitud del parche (L)

La Tabla 8 presenta los resultados matemáticos para L vs los valores obtenidos con el ajuste. El desfase entre valores matemáticos vs el ajuste aumenta en relación directa con el aumento de frecuencia. El cálculo de los valores matemáticos se realizó con (6), donde L_e es la longitud efectiva y ΔL es la extensión de longitud.

$$L = L_e - 2\Delta L \quad (6)$$

Tabla 8. Valores matemáticos vs valores de ajuste para la longitud del parche (L).

Frecuencia	Longitud del parche (L) [mm]		Desfase [%]
	Matemática (M)	Ajuste (A)	
60 GHz	0.26646	0.26652	0.023
67 GHz	0.5034	0.4994	0.79
74 GHz	0.3733	0.3679	1.45

G. Impacto de h y L en el largo del sustrato y tierra (L_g)

Para el cálculo de valores de L_g , que se muestran en la Tabla 9, se utilizó la ecuación (7), donde h es el espesor del sustrato y L es la longitud del parche.

$$L_g = 6h + L \quad (7)$$

Tabla 92. Resultados de largo del sustrato y tierra (L_g) con valores matemáticos y valores obtenidos por ajuste.

Frecuencia	Longitud del sustrato y tierra (L_g) [mm]		Desfase [%]
	Matemática (M)	Ajuste (A)	
60 GHz	3.26646	3.26652	0.002
67 GHz	2.4234	2.4194	0.17
74 GHz	2.3533	2.3479	0.23

H. Impacto del espesor del sustrato (h) y el ancho del parche (W_p) en el ancho del sustrato y tierra (W_g)

Los resultados detallados en la Tabla 10, muestran que, con respecto a los valores matemáticos, cuando f_o aumenta, el ancho del sustrato y tierra disminuyen. Por el contrario, con valores obtenidos por ajuste, cuando la frecuencia de resonancia está entre 60 y 67 GHz el ancho del sustrato y tierra baja y cuando la frecuencia de resonancia está entre 67 y 74 GHz el ancho del sustrato y tierra se eleva. Para calcular el ancho del sustrato y tierra se utilizó la expresión (8).

$$W_g = 6h + W_p \quad (8)$$

Tabla 10. Valores matemáticos vs valores de ajuste de ancho de sustrato y tierra (W_g)

Frecuencia	Anchura del sustrato y tierra (W_g) [mm]		Desfase [%]
	Matemática (M)	Ajuste (A)	
60 GHz	4.5215	4.52	0.04
67 GHz	3.2825	3.54	7.27
74 GHz	3.214	3.7	13.14

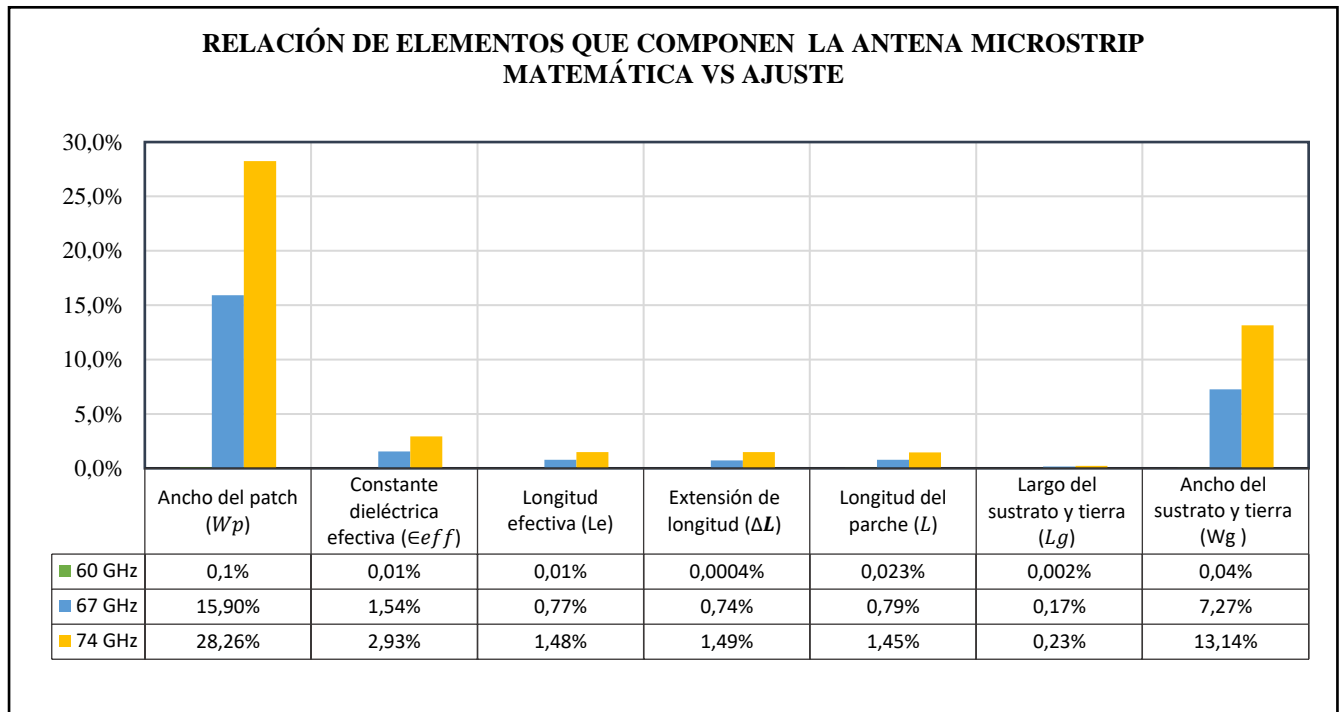


Figura 5. Relación comparativa entre los parámetros del diseño de la antena de los modelos obtenidos al utilizar las fórmulas especificadas en [5] frente al ajuste realizado en cada modelo visualizando los desfases que existen entre los resultados matemáticos y los resultados obtenidos mediante ajuste en el software Ansys HFSS.

IV. CONCLUSIONES

Se evidenció que los valores obtenidos por ajuste se obtuvo coeficientes de reflexión con pérdidas de retorno por debajo de -20 dB. De -24,4067 dB para 60GHz, -23,9816 dB para 67,0125 GHz y -24,4920 dB para 74 GHz, visualizando una mejora en los diseños en un 21.47%. En cuanto al VSWR se consiguieron resultados de 1,0472 dB para 60 GHz, 1,0999 dB para 67,0125 GHz y 1,0370 dB para 74 GHz logrando una desviación de 0.061% estos resultados son relacionados a los diseños matemáticos.

Se tomó como referencia los valores obtenidos de la relación del espesor del sustrato (h) cuando $h > a$ está sobresaliendo fuera de los valores permitidos por fórmula, en base a estos valores se realizan los ajustes por medio de software para llegar a los valores objetivos de la investigación.

Cuando la frecuencia de resonancia aumenta se demostró que hay un desfase importante entre los valores de las dimensiones matemáticas y las dimensiones de ajuste de la antena aumentando en una proporción del 0.7%; para obtener valores objetivos de S_{11} y VSWR los ajustes claves fueron la variación del ancho del sustrato y tierra (W_g) con un factor aproximadamente del 7% de aumento y el ancho del parche (W_p) con un factor cercano al 15% de aumento.

REFERENCIAS

- [1] J. García Barranco, "Tecnologías 3G, 4G Y 5G: Una perspectiva económica y social de la carrera por la innovación de las redes de banda ancha" pp. 1–45, 2019.
- [2] G. Pazmiño Rodríguez, "Análisis comparativo de antenas tipo parche con tecnología microstrip en la banda X," 2018.
- [3] R. Domínguez Vásquez, "Análisis y diseño de una antena de parche microstrip".
- [4] S. Núñez, C. Javier, "Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas", 2018
- [5] U. Farooq and G. M. Rather, "Design and analysis of dual band microstrip antenna for millimeter wave communication applications," *Int. J. Comput. Digit. Syst.*, vol. 90, no. 4, pp. 607–614, 2020, doi: 10.12785/ijcds/090408.
- [6] N. Gualda Fernández, "Antenas para dispositivos móviles 5g e iot," 2019.
- [7] F. Campos Bermejo, "Estudio de modelos de propagación en bandas milimétricas para su futura utilización en redes de comunicaciones móviles 5G," pp. 1–8, 2015.
- [8] F. Ballón Medina, I. Medina Cateriano, "Optimización de Antenas Microstrip Coplanar y Circular para Aplicaciones BAN a 2.45GHz" pp. 221–226, 2012.
- [9] I. Olivera Taño, "Diseño de un arreglo de antenas para la Quinta Generación de las comunicaciones en la banda de 73 GHz," 2016.
- [10] "Espectro 5G: Postura de la GSMA sobre política pública," GSMA, pp. 7–14, 2018.
- [11] J. Jiménez, J. Rodríguez, V. González, "Procedimiento de Diseño y Realización de Antenas de Parche en Tecnología Microstrip," pp. 74–78, 2011.
- [12] B. E. Rodríguez Barrera, "Diseño y simulación de una antena microstrip de rango de operación de super altas frecuencia (3.5 GHz a 6 GHz) para la evaluación de la tasa de absorción específica en tejidos humanos", pp. 1–9, 2019.
- [13] R. Tapia, "Diseño, simulación y fabricación de antenas microstrip para sistemas de comunicaciones inalámbricos" pp. 49–50, 2018.
- [14] Y. Loranca, "Líneas de transmisión y guías de onda: Implementación de la Guía," pp. 74–91, 2013.
- [15] "Espectro en América Latina y el Caribe para 5G: Bandas Medias y Altas," p. 46, 2019.
- [16] J. Cerezo, P. Cerezo, E. Fontán, M. Jiménez and I. Castillo, "El impacto del 5G," *Evoca*, pp. 1–42, 2014.
- [17] J. Anguera and A. Pérez, "Teoría de antenas; antenas microstrip" pp. 1–7, 2017.
- [18] G. M. López, "Modelado circuital de diferentes configuraciones de antenas Microstrip," 2013.
- [19] M. Vielma, "Introducción a las Antenas" p. 45, 2005.
- [20] Y. A. Álvarez Pizarro, A. M. Murillo Niño, "Arreglo lineal de parche rectangular para una antena microstrip" pp. 57–77, 2012.